Aus dem Strahleninstitut
(Leiter: Privatdozent Dr. J. Weishaar)
der Universitäts-Frauenklinik Erlangen
(Direktor: Prof. Dr. K. G. Ober)

Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Anwendung und prozentualen Dosisverteilung bei Durchführung von Tele-Kobalt-Bewegungsbestrahlungen mit dem Gerät Theratron junior als Zusatzbehandlung bei Patientinnen mit Uteruskarzinom

(Studien am Beckenphantom)

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Vorgelegt von
Günther Beck
aus Memmingen

D 29

1964

1964 № 28

Dekan: Prof. Dr. G. Theissing

Referent: Privatdozent Dr. J. Weishaar

Korreferent: Prof. Dr. K. G. Ober

Tag der mündlichen Prüfung: 3. 3. 1964

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderdruck aus
STRAHLENTHERAPIE Band 123, Heft 4 (1964)
Herausgegeben von J. Becker, R. Birkner, H. Langendorff, H. Meyer
VERLAG URBAN & SCHWARZENBERG / MÜNCHEN UND BERLIN
Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten

Aus dem Strahleninstitut (Leiter: Privatdozent Dr. *J. Weishaar*) der Universitäts-Frauenklinik Erlangen-Nürnberg (Direktor: Prof. Dr. *K. G. Ober*)

Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Anwendung und prozentualen Dosisverteilung bei Durchführung von Telekobalt-Bewegungsbestrahlungen mit dem Gerät Theratron junior als Zusatzbehandlung bei Patientinnen mit Uteruskarzinom (Studien am Beckenphantom)*

Von

Julius Weishaar, Günter Beck und **Albrecht Reuss**

Mit 4 Abbildungen

Seit Februar 1960 haben wir im Strahleninstitut der Universitäts-Frauenklinik in Erlangen die Möglichkeit, ultraharte Strahlen mit dem Telekobaltgerät Theratron junior zu verabfolgen.

Zur Feststellung von günstigen Feldanordnungen bei zusätzlicher Anwendung von Kobalt-Stehfeldbestrahlungen zur Radiumapplikation bei Uteruskarzinomen wurden Phantommessungen durchgeführt, worüber von *Weishaar* und *Heller* berichtet wurde.

Diese früheren Untersuchungen sollten nun durch Messungen der Dosisverteilung bei verschiedenen Feldanordnungen und verschieden großen Feldern bei Pendelbestrahlung mit dem Telekobaltgerät an dem bisher verwendeten Phantom ergänzt und erweitert werden. Gleichzeitig wollten wir prüfen, ob die eigenen Messungen mit den Werten übereinstimmen, die sich aus bekannten Tabellen, z. B. der Tabelle** der „Central Axis Depth Dose Data“***, ableiten lassen. Damit war die Frage verknüpft, welche besonderen Faktoren bei unserem Gerät zu berücksichtigen sind, wenn auf Grund solcher Tabellen Bestrahlungspläne erstellt werden müssen.

Als *Meßgeräte* wurden verwendet das Simplex-Universaldosimeter der PTW, Freiburg, mit der normalen Schlauchkammer mit einer Empfindlichkeit von 1 R/Sprung und das Kondiometer mit Membrankondensatorkammern, deren Aufladung so eingestellt wurde, daß Dosen bis zu etwa 500 bis 600 R gemessen werden konnten. Diese Kammern sind kleine Zylinder von 17 mm Länge bei 6 mm Außendurchmesser, deren aktives Meß-

* Herrn Prof. Dr. *R. Dyroff* zum 70. Geburtstag gewidmet.
** Brit. J. Radiol. Suppl. 5, London 1953.
*** Im weiteren Verlauf der Arbeit abgekürzt CADDD-Tabellen.

volumen sich ungefähr über zwei Drittel der Länge des Zylinders erstreckt. Als *Phantom* wurden außer dem in früheren Arbeiten beschriebenen Wachsbeckenphantom noch Platten aus Polyäthylen — als Lupolen der Firma BASF käuflich — verwendet, das mit Kohlenstoff gefärbt ist und ein spezifisches Gewicht von 0,96 hat. Das Material verhält sich gegenüber Strahlung etwa wie das englische Mixed D. Unsere Platten haben eine Größe von 25×30 cm und sind zwischen 0,1 und 5,0 cm dick, so daß ein Block von insgesamt $25 \times 30 \times 30$ cm aufgebaut werden konnte. Es sollte geprüft werden, ob dieses Material an Stelle eines Wasserphantoms verwendet werden kann, in das die Kondensatorkammern ihrer Feuchteempfindlichkeit wegen nicht eingebracht werden können. Unser Telekobaltgerät Theratron junior der Firma Atomic Energy of Canada ist mit einer Quelle von 15 mm Durchmesser beschickt, die zum Zeitpunkt der Messungen noch eine Aktivität von rund 700 Ci aufwies.

Zum Vergleich wurden auch Messungen an einem Müller-Gerät RT 200 bei 200 kV, 0,5 mm Kupferfilter und 1,1 mm Kupfer-HWS herangezogen.

Voruntersuchungen

Es galt zunächst diejenigen physikalischen Daten zu ermitteln, die speziell für die Messungen bei Pendelbestrahlung an unserem Gerät benötigt werden; so wurden außer den Eigenschaften der Meßkammern die Absorptionsverhältnisse in 55 cm Quellenabstand besonders für kleine schmale Felder, die Tischabsorption, Tischeinstellung und die damit verbundenen Fragen der Herddosisberechnung geprüft.

a) Ermittlung des Röntgenwertes „frei Luft" und Eichung der Kondensatorkammern

Die Messung des Röntgenwertes „frei Luft", der Dosisleistung der Co^{60}-Quelle in 55 cm Abstand und bei einer Feldgröße von 15×15 cm, mit der mit Plexiglas umhüllten Kammer des Simplex-Dosimeters ergab nur dann den richtigen Wert, wenn die Kammer mit Hilfe eines „Schwanenhalses" völlig frei Luft in den Strahlengang eingebracht wurde. Wurde die Kammer in demselben Quellenabstand auf den Tisch aufgelegt, erhöhte sich infolge einer durch den Tisch bedingten Rückstreuung der Wert um 1,5%. Bei der Eichung der Kondensatorkammern, die zu diesem Zweck auf den Tisch des Gerätes gelegt wurden, ging ebenfalls diese Rückstreuung in den Eichwert mit ein. Die Kammern wurden zur Erzielung des Elektronengleichgewichtes mit Lupolen von 3 mm oder Plexiglas von 3 bis 5 mm Stärke abgedeckt.

Bei den Eichungen spielte auch die Lage der Kammern zueinander eine Rolle. Wurden diese zur Platzersparnis in engem Kontakt parallel zueinander in zwei Reihen angeordnet, erhielt man einen Streuzusatz von etwa 3,5%, der für die Anordnungen von 7 bis 16 Kammern gleich blieb. Wurden dagegen bis zu 7 Kammern sternförmig in einem Kreis von etwa 5 cm Durchmesser auf den Tisch aufgelegt, reduzierte sich dieser Zusatz auf 1,5%. Das Vorhandensein dieser Zusätze wurde nicht nur auf indirektem Wege, z. B. über Differenzen in den Eichkurven, erschlossen, sondern mit Hilfe gleichzeitiger Messungen mit dem Simplex-Dosimeter direkt nachgewiesen.

Um den Anschluß an die Verhältnisse bei konventioneller Röntgenstrahlung zu gewinnen, wurden die Kammern — ebenfalls sternförmig — in einem Schaumgummibett mit passenden Ausschnitten auf einem dünnen Karton frei Luft in 50 cm Fokusdistanz mit 200 kV geeicht. Es ergab sich, daß sich die für die 200-kV-Röntgenstrahlen aufgenommene Eichkurve jeder Kammer mit der, unter

Berücksichtigung des Streuzusatzes und der Tischrückstreuung, für Kobalt-60-Gammastrahlung erzielten Kurve praktisch sowohl im Absolutwert als auch der Kurvensteigung nach deckte, so daß also eine Wellenlängenabhängigkeit in diesem Bereich nicht beobachtet werden konnte.

b) Einfluß der Feldgröße auf den Röntgenwert „frei Luft"

Bei der Aufstellung von Bestrahlungsplänen muß von der Dosisleistung ausgegangen werden, die bei der gewünschten Feldgröße über die Oberfläche eingestrahlt wird. Da aber bei Anwendung der Kobalt-60-Gammastrahlung der dauernde Aktivitätsabfall der Quelle berücksichtigt werden muß, erschien es zweckmäßig, stets den Röntgenwert „frei Luft" für die Feldgröße 15×15 cm in 55 cm Quellenabstand zugrundezulegen und für den Einfluß der Feldgrößen eigene weitere Korrekturfaktoren einzuführen und festzulegen.

An unserem Gerät ergaben sich bei entsprechenden Versuchen die Werte von Tabelle 1.

Beim Vergleich der Korrekturfaktoren für rechteckige und quadratische Felder stellte sich heraus, daß — in guter Näherung — die Faktoren für quadratische Felder den Quadraten der Faktoren für rechteckige Felder gleicher Breite, aber einer Länge von 15 cm entsprechen. Unter Verallgemeinerung dieses Gedankens lassen sich nun näherungsweise die Faktoren für beliebige reckteckige Felder dadurch ermitteln, daß die entsprechenden Werte der rechteckigen 15 cm langen Felder miteinander multipliziert werden.

Zum Beispiel ergibt sich als Feldgrößenfaktor für ein Feld von 3×12 cm:

$$f_{(3\times12)} = f_{(3\times15)} \times f_{(12\times15)}$$
$$f_{(3\times12)} = 0{,}92 \times 0{,}99 = 0{,}91.$$

Dies ist ein Wert, der kleiner ist als der für das gleich große quadratische Feld von 6×6 cm gültige Wert von 0,925. Ebenso ist zum Beispiel der Faktor für 3×8 cm $f_{(3\times8)} = 0{,}92 \times 0{,}975 = 0{,}895$ merklich kleiner als der für das 5×5 cm große Feld (0,91).

Die Faktoren für kleinere Felder als 3 cm, die sehr stark abnehmen, wurden nicht angegeben, da sich die Anwendung solch schmaler Felder wegen der immer deutlicheren Auswirkung des Halbschattens nicht empfiehlt.

c) Absorptionsverhältnisse in den drei verwendeten Phantommaterialien

Um festzustellen, ob das Lupolen-Kunststoffphantom mit einem Wasserphantom hinsichtlich seines Verhaltens gegenüber Kobalt-60-Gammastrahlung vergleichbar ist, wurden in diesem Material Tiefendosiswerte ausgemessen. Es fand sich, daß diese Werte mit den englischen CADDD-Werten übereinstimmten.

Tabelle 1. Abhängigkeit der Dosisleistung in 55 cm Quellenabstand von Form und Größe der eingeblendeten Felder, bezogen auf die Dosisleistung bei Feldgröße 15×15 cm.

	rechteckige Felder							
Feldgröße in cm	15×15	12×15	10×15	8×15	6×15	5×15	4×15	3,5×15
Korrekturfaktor	1	0,99	0,98	0,975	0,96	0,953	0,944	0,92
	quadratische Felder							
Feldgröße in cm	15×15	12×12	10×10	8×8	6×6	5×5	4×4	
Korrekturfaktor	1	0,98	0,965	0,95	0,925	0,91	0,89	

Weiterhin wurden bei Absorptionsmessungen an gleich dicken Schichten von Wasser, Lupolen und Wachs jeweils fast gleiche Werte gefunden, so daß praktisch gleiches Verhalten der Materialien gegenüber Kobalt-60-Gammastrahlung angenommen werden darf.

d) Schwächung der Kobalt-60-Gammastrahlung im Gewebe bzw. Phantom

Für die Aufstellung von Bestrahlungsplänen zur Bewegungsbestrahlung hat die Kenntnis der effektiven Schwächung der Strahlung im Gewebe (d. i. die Dosisminderung des jeweiligen Freiluftwertes in 55 cm Quellenabstand bei Durchstrahlung verschieden dicker Schichten) die gleiche Bedeutung wie die relative Tiefendosis (TD) bei Stehfeldbestrahlung. Die Größen für die Schwächung der Strahlung im Gewebe lassen sich aber aus den Tabellenwerten für die relativen Tiefendosen ableiten, da die relative Tiefendosis (für eine bestimmte Feldgröße und einen bestimmten Fokus-Haut-Abstand) als Produkt aus der Abnahme der Strahlungsintensität infolge der Zunahme des Fokus-Abstandes und der Schwächung der Strahlung im dazwischenliegenden Gewebe aufgefaßt werden kann.

Aus der Gleichung für die relative Tiefendosis

$$D_t = D_o \cdot \left(\frac{f_o}{f_{(o+t)}}\right)^2 \times s \cdot 100\,\%,$$

wobei D_t = Dosis in der Tiefe t in Prozenten der Oberflächendosis D_o,
D_o = Oberflächendosis,
f_o und $f_{(o+t)}$ = Fokus-Abstand der Oberfläche bzw. der Tiefe t und
s = Schwächung der Strahlung im Gewebe von der Dicke t

ist, ergibt sich für die Schwächung s:

$$s = \frac{D_t}{D_o} \cdot \frac{1}{100} \cdot \left(\frac{f_{(o+t)}}{f_o}\right)^2 = \frac{\text{rel. TD}}{100} \text{ (lt. Tabelle)} \cdot \left(\frac{f_{(o+t)}}{f_o}\right)^2.$$

Bezogen auf das Dosismaximum in 5 mm Tiefe ist z. B. bei einem Fokus-Oberflächen-Abstand von 50 cm und einer Feldgröße von 20 cm^2 die rel. TD in 10 cm Tiefe, d. h. in 60 cm Fokus-Abstand, laut CADDD-Tabelle 44,5 %. Nach obiger Formel ergibt sich damit für die Schwächung s in 10 cm durchstrahltem Gewebe

$$s = \frac{44{,}5}{100} \cdot \left(\frac{50 + 10}{50{,}5}\right)^2 = 0{,}628.$$

Auf diese Weise wurden die Kurven der Abbildung 1 errechnet, die, im halblogarithmischen System, von etwa 5 cm Gewebetiefe ab Gerade darstellen. Es läßt sich dabei zeigen, daß bei Schwächungswerten, die aus Tabellen für 50, 60, 80 und 100 cm Fokus-Haut-Abstand errechnet werden, ein Trend zu kleineren Werten bei größerem FHA vorhanden ist; jedoch sind die Differenzen meist kleiner als 1 %; sie können deswegen unberücksichtigt bleiben. Durch eigene Messungen war zu prüfen, ob sich auch an unserem Lupolen-Phantom die nach den Tabellen der Central Axis Depth Dose Data errechneten Werte ergeben würden.

Zu diesem Zweck wurden die Simplex-Dosimeterkammern in einer geschlitzten Lupolenplatte auf die Drehachse des Gerätes, d. h. auf 55 cm Fokusdistanz, eingerichtet und die gewünschten Schichtdicken durch Auflegen von Platten verschiedener Stärke hergestellt.

Die auf diese Weise gemessenen Schwächungswerte stimmten ebenso mit den aus den englischen Tabellen errechneten Größen überein, wie im vorigen Abschnitt die relativen Tiefendosen den Tabellenwerten entsprachen. Die für unsere

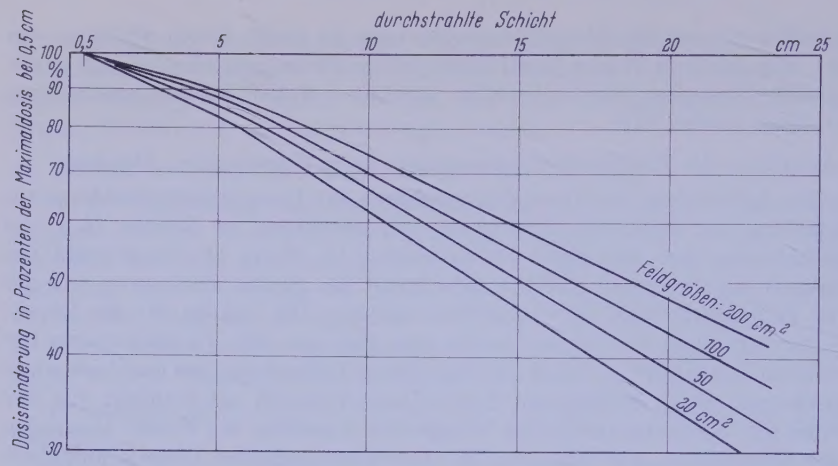

Abb. 1. Die Schwächung von Co^{60}-Strahlung nach Durchtritt durch Phantommaterial bei konstantem Abstand des Meßinstrumentes von der Quelle.

weiteren Studien wichtigen eigenen Meßergebnisse der Absorption bei Anwendung kleiner schmaler Felder sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

e) Tischabsorption am Theratron junior

Bei Pendelung unter das Tischniveau war eine Schwächung der Strahlung durch Tischkante und Tischplatte zu erwarten. Bei Messungen in Winkelabschnitten von 2,5 zu 2,5° wurde festgestellt, daß die größte Schwächung von etwa 20% bei Feldern unter 50 cm² dann eintrat, wenn die Tischkante vom Strahlenbündel getroffen wurde, d. h. bei einer Winkelstellung des Kopfes von rund 125° zur Senkrechten. Die Höhenlage des Tisches war dabei innerhalb der Grenzen der normalen Einstellungen ohne wesentlichen Einfluß. Beim größtmöglichen Feld von 15 × 15 cm betrug die Kantenabsorption 16%.

Bei Winkelstellungen von 150° bis 180°, wenn also nur die Tischplatte durchstrahlt wurde, nahmen für kleine Felder unter 50 cm² die Schwächungswerte von 7,5% bei 150° auf 4% bei 180° ab, beim 15×15-cm-Feld betrugen die entsprechenden Zahlen 5% und 4%.

Es zeigte sich ferner, daß es genügt, die obigen Zahlen als repräsentative Werte einzusetzen, wenn für beliebige Pendelwinkel die Gesamtabsorption als

Tabelle 2. Faktoren für die Abnahme der Dosisleistung in 55 cm Quellenabstand in Abhängigkeit von der durchstrahlten Phantomschichtdicke bei kleinen, schmalen Feldern.

durchstrahlte Schichtdicke in cm	Feldgröße in cm			
	3×8	4×8	3×12	3,5×15
2,0	0,967	0,960	0,957	0,957
5,0	0,835	0,840	0,838	0,845
10,0	0,637	0,647	0,645	0,660
15,0	0,467	0,478	0,475	0,487
20,0	0,342	0,350	0,350	0,360

mittlere Absorption aus Winkelabschnitten von je 25° ermittelt werden soll. So ergibt sich z. B. für einen Pendelwinkel von 180° unter Vernachlässigung der Grenzwerte bei 0° bzw. 180° und ein Feld von 3 × 8 cm folgende Rechnung:

Winkelstellung des Kopfes	Dosis in % des Freiluftwertes
25°	100%
50°	100%
75°	100%
100°	100%
125°	80%
150°	92,5%
	Summe: 572,5%

Mittelwert $\frac{572{,}5}{6} = 95{,}5\%$, d. h. in diesem Beispiel beträgt die errechnete Gesamtabsorption des Tisches 4,5%, was recht gut mit dem Wert von 4,3% übereinstimmt, der sich aus mehreren Messungen bei Pendelungen über 180° und der Feldgröße von 3 × 8 cm ergab.

f) Errechnung der Herddosis bei Bewegungsbestrahlung

Bei jeder Bewegungsbestrahlung ist der Ausgangspunkt zur Ermittlung der Herddosis der Körperumriß, aus dem, nach lagerichtiger Einzeichnung des Herdes, die jeweiligen Herd-Oberflächenabstände in Winkelabschnitten von je 10° oder 20° entnommen werden. Die diesen Abständen entsprechenden prozentualen Herddosen in Winkelabschnitten lassen sich aus der zu der gewünschten Feldgröße gehörenden Kurve der Abbildung 1 ablesen, summieren und mitteln.

Die Berechnung der Herddosisleistung (HDL) kann nun nach folgender Formel vorgenommen werden:

$$HDL = RW \cdot f_o \cdot f_s \cdot f_t \text{ R/min.}$$

Hierbei sind
- RW = Röntgenwert frei Luft in 55 cm Abstand bei 15 × 15 cm Feldgröße (s. Abschnitt a)
- f_o = Faktor für die Feldgröße (s. Abschnitt b)
- f_s = mittlere prozentuale Herddosisleistung in Winkelabschnitten = mittlere prozentuale Schwächung der Strahlung im Gewebe (s. Abschnitt d)
- f_t = Faktor für die Tischabsorption.

Die Bestrahlungszeit richtet sich dann nach der Höhe der zu verabreichenden Dosis, wobei die Pendelgeschwindigkeit möglichst so einzurichten ist, daß die Bestrahlungszeit mit vollen zu durchlaufenden Pendelwinkeln übereinstimmt.

Untersuchungen zur Feststellung günstiger Feldanordnungen bei Zusatzbestrahlung des Uteruskarzinoms mit Kobalt-60-Pendelbestrahlung am Beckenphantom

Weishaar und *Brückner, Weishaar* und *Heller* haben Untersuchungen zur Frage der Feldgrößen und der Dosisverteilung bei Anwendung von Stehfeldern, sowohl bei Röntgen- als auch bei Telekobaltbestrahlung, für die Zusatzbestrahlung von Kollumkarzinomen zu hoch dosierten Radiumapplikationen durchgeführt. In Fortsetzung dieser Arbeiten sollten jetzt die Verhältnisse bei Bewegungsbestrahlung mit Kobalt 60 am Beckenphantom überprüft werden.

Die Pendelbestrahlung sollte bei unseren Versuchen als reine Zusatzbestrahlung zu hochdosierten Radiumeinlagen ausgeführt werden, wobei wir uns der

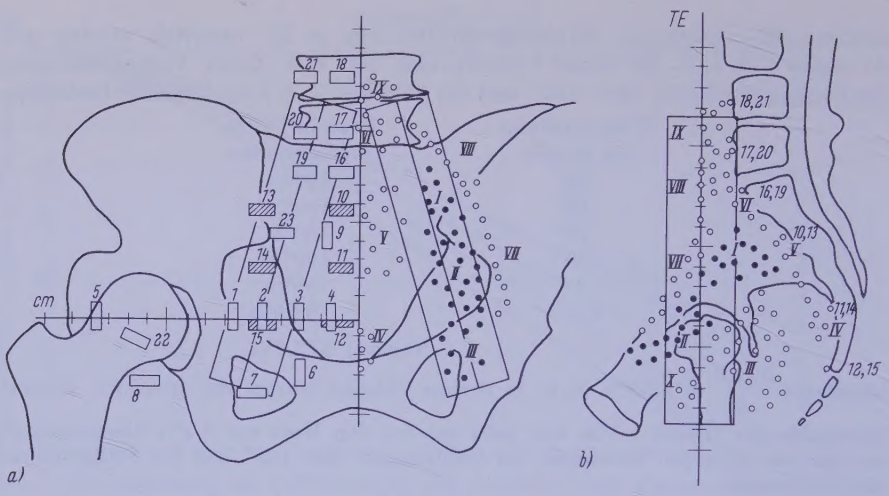

Abb. 2a u. b. Skizzen des verwendeten Beckenphantoms und der Lage der geometrischen Herdfelder (15 × 3,5 cm) zu den Lymphknoten sowie den Meßstellen (1 bis 23).

Schwierigkeiten bei der Kombination von Bewegungsbestrahlungen mit der Radiumtherapie bewußt sind. Da hierbei Uterusverlagerungen schwieriger zu berücksichtigen sind als bei Zusatzbestrahlungen mit Stehfeldern, hält ja auch z. B. die Marburger Schule die Pendelbestrahlung in diesem Falle nicht für zweckmäßig. Trotz dieser Schwierigkeiten wollten wir prüfen, ob wir uns die allgemein anerkannten Vorteile einer Bewegungsbestrahlung als reine Zusatzbestrahlung zunutze machen könnten.

Bei unseren Versuchen wollten wir prüfen, ob es möglich ist, mit einer Feldeinstellung je Seite weitgehend alle Lymphabflußgebiete des Collum uteri mit einer ausreichenden therapeutischen Dosis zu bestrahlen.

Die hauptsächlichsten Lymphknoten liegen von der Beckenwand bis etwa halb zum Collum uteri hin und in der die Parametrien, die Aufzweigung der A. iliaca comm. und die Bifurkation verbindenden Geraden (*Keller, Breit*) und wären mit einer Pendelung gut zu erreichen.

In einem ersten Versuch wurde geprüft, inwieweit die vor dem Kreuzbein gelegenen Lymphknoten bei einer Einstellung zusammen mit der Beckenwand in Höhe der Spina ischiadica mitbestrahlt werden können; ein zweiter Versuch sollte dann Aufschluß darüber geben, ob es möglich ist, durch ein langes Pendelfeld zusätzlich auch die prälumbalen Lymphbahnen mit einer ausreichenden Dosis zu bestrahlen. Die Abbildungen 2 a und 2 b zeigen die Lage der Lymphbahnen bzw. -knoten und des Herdfeldes 3,5 × 15 cm schematisch in unser Beckenphantom eingezeichnet.

Die Lage der Lymphknoten wurde aus der Veröffentlichung über die Marburger Methode von *du Mesnil de Rochemont* und Mitarb. für unser Phantom entsprechend abgeändert übernommen.

Versuchsanordnung

Um einen Vergleich zu den früheren Arbeiten in unserem Institut zu erhalten, verwendeten wir die gleichen Meßgeräte und dasselbe Phantom mit denselben

Meßstellen auch für die Versuche bei Pendelbestrahlung (s. bei *Weishaar* u. *Heller*).

Zur reproduzierbaren Einstellung eines Feldes bei Bewegungsbestrahlung wurde diesmal für das Phantom aus Cellona-Gipsbinden ein Bett angefertigt. Dabei wurde darauf geachtet, daß Gips nicht in den Bereich der zu bestrahlenden Felder gebracht wurde. Deshalb wurden je eine kraniale und kaudale Gipsmanschette, die mit Holzleisten verbunden wurden, angelegt. Außer mit den Meßkammern links wurde in Bohrungen auf der rechten Seite des Beckenphantoms mit dem Simplex-Universaldosimeter gemessen.

Versuch 1

Fragestellung:

Es soll festgestellt werden, ob es mit der Kobalt-Pendelbestrahlung möglich ist, bei ausreichender Schonung der Blase, des Ureters, des Rektums, des Schenkelhalses und der Beckenmitte bei der Zusatzbestrahlung von Korpuskarzinomen eine genügend hohe Dosis auf die Gebiete des präsakralen Raumes zu applizieren, ohne daß dabei die Beckenwand ungenügend ausgelastet wird.

Die in früheren Arbeiten angewandte Schrägstellung langer Felder wurde zunächst nicht vorgenommen, da grundsätzlich nur die Frage der ausreichenden Dosis im präsakralen Gebiet bei gleichzeitig hoher Dosis an der Beckenwand geklärt werden sollte; die Pendelachse lag bei diesen Versuchen parallel zum medianen Sagittalschnitt. Die genaue Höheneinstellung der Pendelachse konnte mit Hilfe des am Tisch befindlichen Höhenmaßstabes sowie der an den Wänden eingebauten Lichtvisiere jederzeit reproduziert werden. Der untere Feldrand aller Felder lag 1,5 cm unterhalb des Symphysenoberrandes, der Feldmittelpunkt bei den verwendeten 8 cm langen Feldern 2,5 cm oberhalb des Symphysenoberrandes.

Um die Gegend von Blase und Rektum zu schonen, wurde anfänglich nur über einen Winkel von $+10^\circ$ bis $+170^\circ$ gependelt. Die Pendelgeschwindigkeit wurde, wie bei allen späteren Messungen, auf 0,5 volle Umläufe pro Minute eingestellt, was einer Winkelgeschwindigkeit von 180° in einer Minute entspricht.

Um Dosisspitzen durch Summierung der Radiumdosis und derjenigen der Zusatzbestrahlung möglichst zu vermeiden, ist für die Zusatzbestrahlung ein steiler Dosisabfall von den lateralen Partien des kleinen Beckens nach der Beckenmitte hin erwünscht. Die 3 cm und 1,5 cm lateral der Mitte gelegenen Meßstellen 3 und 4 (s. Abb. 2a u. 2b) verdienen deshalb wegen ihrer medialen Lage besondere Aufmerksamkeit; die seitlichen Partien der Parametrien und die Beckenwand (Meßstelle 2 u. 1) sollen dagegen — wie auch die präsakralen lateralen Gebiete (Meßstelle 13 bis 15) — dem Dosismaximum möglichst nahe liegen.

Um nun den lateralen Präsakralraum (Meßstelle 13, 14, 15) sowohl im Vergleich zu dem medialen Präsakralraum (Meßstelle 10, 11, 12) als auch absolut höher zu belasten, wurde im Verlauf der Untersuchungen der Pendelwinkel von 160° auf 180° vergrößert; und zwar wurde, unter Schonung der anterioren Gebiete, von $+10^\circ$ nach $+190^\circ$ gependelt. Auch von einer Verlegung der Drehachse von 5 nach 4 cm von der Mitte sowie besonders durch deren Verlegung 2 cm dorsalwärts der Transversalebene* versprachen wir uns einen Dosiszuwachs im präsakralen lateralen Gebiet. Anschließend wurden Dosisverteilungen bei

* Transversalebene = Ebene durch den halben sagittalen Durchmesser, gemessen in Symphysenhöhe, im folgenden mit TE abgekürzt.

Verbreiterung der ehemals 3 cm breiten Felder auf 4 cm ausgemessen (insgesamt 9 verschiedene Feldeinstellungen). Die in den Tabellen 3 a und 3 b aufgeführten Werte beziehen sich auf gleiche Bestrahlungszeiten von je 15 Minuten bei einer damaligen Dosisleistung der Quelle von 51,3 R/min in 55 cm Abstand. Für die Beurteilung der Dosis im präsakralen Raum medial und lateral ist besonders auf die Dosis an den Meßstellen 11, 12 und 14, 15 zu achten.

Auswertung der Messungen (s. Tab. 3 a u. b)

Im Gegensatz zu dem bei Stehfeldbestrahlung in früheren Arbeiten durchgeführten Vergleich mit der Beckenwanddosis ist es bei Pendelbestrahlung günstiger, das Dosismaximum nach Lage und Höhe zu ermitteln und alle Werte, einschließlich der Dosis an der Beckenwand, auf dieses Maximum zu beziehen. Da aber bei unserem Phantom die Anzahl der Meßstellen für die Bestimmung des Dosismaximums zu gering ist, bestand die Gefahr, daß meßtechnisch nicht immer das Maximum erfaßt wurde (die Beckenwand erhielt z. B. bei dem 4 cm lateral in der TE liegenden 3×8 cm großen Feld nur 60% des Maximums). Die gemessenen Höchstwerte ließen sich daher nicht ohne weiteres miteinander vergleichen. Das Anbringen weiterer Bohrungen und Nischen zur Aufnahme von Meßgeräten war aber wegen der damit verbundenen weiteren Schaffung von Hohlräumen, die die Ergebnisse verfälschen würden, nicht ratsam. Es wurden deshalb die an den Meßstellen ermittelten Dosen auf die maximalen Herddosen bezogen, die nach den im ersten Teil erwähnten Methoden errechnet wurden und die in Tabelle 4 aufgeführt sind.

Die Schwankungsbreiten

Es zeigte sich, daß in der Feldmitte die Schwankungen sehr gering sind: etwa ± 2%. In Gebieten des steilen Dosisabfalles, wo auch kleinste Einstellungsungenauigkeiten sich stark auswirken, sind die Schwankungen größer (z. B. bei Meßstellen 3, 4 u. 8). An den Meßstellen am Feldrand sind zwar die größten Schwankungen zu erwarten und auch vorhanden (z. B. Meßstelle 10 u. 13), jedoch handelt es sich bei den geringen absoluten Dosen nur um einige Röntgen. Ähnliche Beobachtungen sind am gleichen Phantom von *Weishaar* und *Brückner* auch bei Röntgen-Stehfeldbestrahlung beschrieben worden. Es lagen dabei die Schwankungen im Zentralstrahl bei den Messungen mit Röntgenstrahlen gegenüber der konstanten Kobaltstrahlung zum Teil höher, während die Schwankungen am Feldrand geringer waren, da der Dosisabfall in diesen Gebieten bei Röntgenstrahlung geringer ist als bei der harten Kobalt-Gammastrahlung und sich Einstellungsungenauigkeiten deshalb weniger auswirken.

Besprechung der Meßergebnisse

1. Dosis an der Beckenwand

Ausgehend von einer Feldeinstellung, bei der die Pendelachse in der TE und 1,5 cm medialwärts der Beckenwand (5 cm lateral der Medianen) liegt, war zu untersuchen, ob bei Verlegung der Pendelachse nach medial oder dorsal zur Erzielung einer höheren Dosis im präsakralen Gebiet die Gesamtdosisverteilung noch befriedigt, wobei nach wie vor die Beckenwand und die benachbarten Gebiete eine ausreichende Dosis erhalten sollten.

Die Beckenwanddosis verringerte sich bei dem mit seinem Zentralstrahl 5 cm lateral in der TE liegenden 3×8 cm großen Feld — bei einem Pendelwinkel von 180° —, bei dessen Verlegung 1 cm nach medial von 79,4% auf 52,5% des errechneten Dosismaximums. Der kleinere Pendelwinkel von 160° führte dagegen zu einer Erhöhung der Dosis an der Beckenwand: Lag die Feldachse 5 cm von der Mitte entfernt, vergrößerte sich die Dosis von 79,5% auf 86,5%. Die Beckenwanddosis nahm aber bei Verlegung des 3 cm breiten Feldes um

Tabelle 3. Zu Versuch I. Dosisverteilung im Bereich des kleinen Beckens für 8 cm lange Felder mit stets 4 cm unterhalb der Interspinallinie liegendem unterem Feldrand, aber verschiedener Lage der Feldachse.

Reihenfolge der Angaben: Herdfeldgröße in cm / Entfernung der Lage der Feldachsen von der Medianen in cm / Lage der Feldachsen in der TE oder 2 cm dorsal (d) davon / Größe des Pendelwinkels. a: gemessene Dosis in R (Mittelwert für 15 min Bestrahlungszeit); b: prozentuale Dosisverteilung, bezogen auf die errechnete Maximaldosis = 100%.

a) Für 3 cm breite Felder

Nummer der Meßstellen	3×8 / 5 / TE / 160°		3×8 / 5 / TE / 180°		3×8 / 4 / TE / 180°		3×8 / 5 / d / 180°		3×8 / 4 / d / 180°	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1	325,0	86,5	318,2	79,4	202,5	52,5	307,3	74,3	202,8	51,0
2	372,0	99,2	386,0	96,4	343,5	88,0	357,3	86,3	323,8	80,4
3	200,0	53,2	213,0	53,2	351,5	90,0	191,0	46,2	296,8	73,6
4	112,0	29,9	118,8	29,6	166,5	42,5	109,5	26,4	156,0	38,7
5	105,0	28,0	98,0	24,4	93,5	24,0	100,8	24,4	95,5	23,7
6	167,0	44,5	179,0	44,6	294,0	75,3	166,0	40,0	281,8	70,0
7	270,0	72,2	316,0	78,8	261,0	67,0	291,3	70,4	234,0	58,0
8	82,0	21,8	96,0	24,0	86,5	22,2	88,2	21,3	79,8	19,8
11	38,0	9,3	41,1	10,2	50,0	12,8	48,2	11,6	62,8	15,6
12	47,0	12,5	48,6	12,1	58,5	15,0	65,6	15,8	71,5	17,7
14	37,0	9,9	102,6	25,3	106,0	27,1	137,3	33,2	135,5	33,5
15	56,0	14,2	112,0	27,0	112,0	28,7	152,0	36,7	148,0	36,7

b) Für 4 cm breite Felder

Nummer der Meßstellen	4×8 / 5 / TE / 180°		4×8 / 4 / TE / 160°		4×8 / 5 / d / 180°		4×8 / 4 / d / 180°	
	a	b	a	b	a	b	a	b
1	426,0	103,0	297,5	80,3	396,0	93,0	282,7	68,0
2	424,5	102,5	385,0	103,5	420,3	99,4	400,7	96,4
3	308,0	74,5	346,0	93,3	285,3	67,0	369,3	88,3
4	157,0	38,0	221,0	59,7	150,0	35,2	223,3	53,7
5	134,5	32,5	118,5	32,0	133,7	31,4	123,0	29,6
6	265,5	64,0	255,0	68,7	253,3	59,5	336,3	80,7
7	338,5	81,6	293,5	79,0	341,3	80,5	303,7	73,0
8	116,5	28,2	102,5	27,2	118,3	27,8	104,0	25,0
11	55,0	13,3	49,0	13,2	63,0	14,8	82,7	19,9
12	67,0	16,2	59,5	16,1	80,0	18,8	95,7	23,0
14	142,5	34,3	85,0	23,0	173,3	40,5	183,0	44,0
15	153,5	37,0	96,0	26,0	206,0	48,3	198,3	47,7

Die Meßstellen 9, 10, 13 und 23 sind nicht mitaufgeführt, da sie außerhalb des Feldes lagen.

Tabelle 4. Berechnete Maximaldosen im jeweiligen Zentrum des Herdfeldes.

Herdfeld: Breite × Länge / Entfernung der Achse von der Medianen / Achse in der „TE" oder 2 cm dorsal davon (d) Pendelwinkel	Errechnete Dosis für 15 Minuten Bestrahlungszeit in R (Maximaldosis)
3×8 / 5 / TE / 160°	395
3×8 / 5 / TE / 180°	401
3×8 / 4 / TE / 180°	390
3×8 / 5 / d / 180°	414
3×8 / 4 / d / 180°	403
4×8 / 5 / TE / 180°	413
4×8 / 4 / TE / 160°	390
4×8 / 5 / d / 180°	426
4×8 / 4 / d / 180°	416

2 cm nach dorsal bei dem 5 cm lateral liegenden Feld von 79,4% auf 74,3% ab, die des 4 cm lateral liegenden Feldes von 52,5% auf 51,0%.

Bei den 5 cm lateral in der TE liegenden Feldern stieg die Höchstdosis an der Beckenwand bei Verbreiterung des Feldes von 3 auf 4 cm von 86,5 auf 103%, bei 4 cm lateral und 2 cm dorsal liegenden Feldern erhöhte sich die Dosis bei Verbreiterung von 3 auf 4 cm von 51% auf 68%.

Zusammenfassend ist also zu sagen, daß ein 3 cm breites Feld bei 6,5 cm von der Medianen liegender Beckenwand für die Beckenwanddosisverteilung nur dann ausreicht, wenn es 5 cm lateral und in der TE liegt, wobei die Ergebnisse bei 160° und 180° Pendelwinkel praktisch gleich bleiben. Am idealsten erscheint das 4 cm breite, ebenfalls 5 cm lateral in der TE gelegene Feld. Alle dorsalen und vor allem die medialen Felder von 3 cm Breite ergeben ungünstigere Verhältnisse. Bei Feldverbreiterung auf 4 cm wird aber mit einem dorsalen Feld die Beckenwand nur dann ausreichend belastet, wenn dieses 5 cm lateral liegt.

2. Dosisabfall von der Beckenwand zur Mitte

Der Dosisabfall war erklärlicherweise größer, wenn das Feld weit lateral lag. So fiel zum Beispiel die auf das jeweilige Dosismaximum bezogene prozentuale Dosis bei dem 5 cm lateral in der TE liegenden 3 cm breiten Feld von 79,4% an der Beckenwand (Meßstelle 1) nach einem Anstieg auf 96,4% in Meßstelle 2 (5 cm lateral) auf 29,6% an Meßstelle 4, die sich 1,5 cm von der Medianen entfernt befindet. Wenn das gleiche Feld aber nur 4 cm lateral lag, wurde eine Dosis von 42,5% an Meßstelle 4 gemessen. Wurde das Feld 2 cm dorsal verschoben, nahm die Dosis in der TE allgemein ab, wobei sich die Dosis an Meßstelle 4 (1,5 cm von der Medianen) bei einem dorsal 5 cm lateral liegenden Feld von 3 cm Breite von 29,6% auf 26,4%, bei dorsal 4 cm lateral liegendem Feld von 42,5% auf 38,7% verringerte.

Im Verhältnis zu dem Dosisverlust an der Beckenwand und an Meßstelle 2 bei der Dorsalverschiebung des Feldes war aber die dadurch hervorgerufene Änderung der Dosis in der Mitte unbedeutend, so daß, was die Werte in der Medianen anbetrifft, die jeweils entsprechenden Feldanordnungen in der TE und 2 cm dorsal als fast gleichwertig angesehen werden können. Auch die Winkeländerung spielte für die mediale Dosis eine untergeordnete Rolle. Für

die 4 cm breiten Felder gelten die gleichen Überlegungen, lediglich lagen alle Werte höher.

Außerdem ist dabei noch zu bedenken, daß sich durch Summation der Dosen von der Gegenseite her die an sich schon höheren Werte bei den 4 cm breiten Feldern addieren, was sich besonders bei nur 4 cm lateral liegenden Feldern stark auswirkt, so daß in diesem Fall den 3 cm breiten Feldern der Vorzug zu geben wäre.

3. Dosis im Schenkelhalsbereich

Die Werte der 3 cm breiten Felder lagen an Meßstelle 5 (Außenseite des Schenkelhalses) um 24%, wobei sich die Dosis bei verschiedener Anordnung der Felder (Medial- und Dorsalverschiebung) um nicht mehr als $\pm 0{,}4$% des Dosismaximums veränderte, während eine Verkleinerung des Pendelwinkels auf 160° die Dosis von 24% auf 28% ansteigen ließ. Erwartungsgemäß lagen die Ergebnisse bei Verwendung von 4 cm breiten Feldern höher, und zwar stieg die Dosis an Meßstelle 5 im Mittel von 24% auf 31,1% bei einer Schwankung — je nach Feldeinstellung — um $\pm 1{,}5$%.

Die Werte an Meßstelle 8 (an der medialen Seite des Schenkelhalsbereiches) schwankten auf Grund ihrer Lage am Feldrand etwas stärker (etwa um ± 2%) und betrugen für die 3 cm breiten Felder 21,8%, für die 4 cm breiten Felder 27%, einer noch ohne weiteres tragbaren Dosisbelastung.

4. Dosis im präsakralen Raum, etwa in Höhe der Interspinallinie (Meßstellen 12 u. 15) und 2,5 cm kranial davon (Meßstellen 11 u. 14)

Es sollte eine möglichst hohe Dosis, vor allem in den lateralen präsakralen Gebieten (Meßstellen 14 u. 15), erreicht werden. Der Übersicht halber sei es gestattet, die auf Grund kleiner Tiefendifferenzen etwas schwankenden Werte der Meßstellen 11 und 12 sowie 14 und 15 jeweils zu mitteln und die so gewonnenen Werte zu vergleichen.

Es zeigte sich, daß bei einem Bestrahlungswinkel von 160° die medialen und lateralen Kammern (11, 12, 14 u. 15) bei einem Feld von 3 cm Breite mit 5 cm lateral gelegener Achse eine gleich große Dosis von etwa 10% erhielten. Diese Dosis an den lateralen Kammern stieg bei fast gleichbleibender medialer Belastung auf 26,2%, wenn der Pendelwinkel von 160° auf 180° erweitert wurde. Die Verlegung eines 3 cm breiten Feldes — bei einem Pendelwinkel von 180° — von 5 cm nach 4 cm von der Medianen brachte keinen wesentlichen Dosiszuwachs. An den lateralen Kammern wurden nur 1,7% mehr, also 27,9%, an den medialen statt 11% nun 14% des Dosismaximums gemessen.

Da einerseits bei Verbreiterung des Feldes von 3 cm auf 4 cm neben einer Winkelvergrößerung die laterale Dosis nur auf 35,7% anstieg, die mediale Dosis aber mit 14,7% gering blieb, andererseits eine Verlegung des Feldes medialwärts keinen wesentlichen Dosisgewinn mehr versprach, wurde versucht, durch Felder, deren Achsen 2 cm dorsal der TE verlegt wurden, eine bessere Dosisverteilung zu bekommen. Nun erhielten wir für die 3 cm breiten, 5 und 4 cm lateral liegenden Felder mit 34,9% und 35,1% im lateralen Präsakralraum etwa die gleiche Dosis wie beim 4 cm breiten Feld, das 5 cm lateral in der TE lag; entsprechend wurden für die 4 cm breiten Felder Dosen von 44,4% und 45,8% gemessen. Während aber die Dosen an den lateral gelegenen Meßstellen unabhängig von der Größe der Lateralverschiebung für eine bestimmte

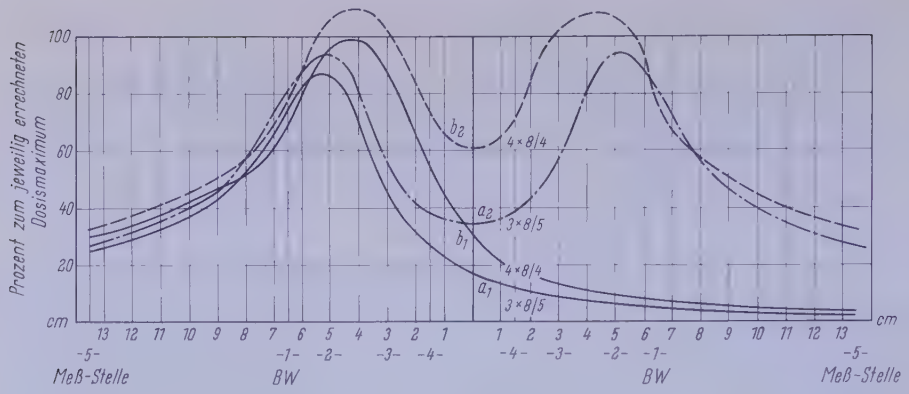

Abb. 3. Der Dosisverlauf im Phantom für zwei 8 cm lange Felder. Kurve a_1: Feldbreite 3 cm, Achse 5 cm von der Mitte und 2 cm dorsal der TE; Kurve b_1: Feldbreite 4 cm, Achse 4 cm von der Mitte und 2 cm dorsal der TE. Bestrahlung jeweils nur über der linken Phantomhälfte. Kurven a_2 und b_2: Felder entsprechen a_1 bzw. b_1; Bestrahlung über beide Phantomhälften.

Feldgröße beinahe gleich blieben, nahmen die Dosen in der Medianen von 13,7% bei 5 cm lateral liegendem, 3 cm breitem Feld bis 21,5% bei 4 cm lateral gelegenem, 4 cm breitem Feld zu. Weiter nahm bei dem 4 cm breiten, 5 cm lateral gelegenen Feld — mit einer lateralen Dosis von 44,4% — die Dosis in der Mitte nur um etwa 6% gegenüber der Dosis bei der ersten Versuchsanordnung (des 3 cm breiten Feldes mit 5 cm von der Medianen in der TE gelegenen Achse bei einem Pendelwinkel von 160°) auf 16,8% zu.

Die Medialverschiebung eines Feldes von 5 cm auf 4 cm brachte also für die lateralen präsakralen Gebiete keinen Dosiszuwachs, wohl aber die Vergrößerung des Pendelwinkels um 20° und die Verbreiterung des Feldes von 3 auf 4 cm. Die Dosis in der Mitte über dem Os sacrum war bei dem dorsalen 4 cm lateral liegenden, 4 cm breiten Feld mit 21,5% am höchsten; bei dieser Feldanordnung wurde aber die mediale Dosis in der TE mit 53,7% ziemlich hoch.

Wie sich die Dosisverteilung in der TE in Höhe der Interspinallinie bei 2 cm dorsal der TE liegender Feldachse verhält, haben wir in Abbildung 3 aufgezeigt. Die gestrichelten Linien geben den Dosisverlauf bei Pendelung über beide Hälften des Beckens an. Zur Ermittlung der Dosis in der Gegenseite wurden über der rechten Seite des Phantoms das jeweilige spiegelbildliche Feld bestrahlt und die auf der linken Seite gemessenen Werte zu den Dosen der linken Seite addiert. Die Werte, die durch die Bestrahlung des Gegenfeldes gewonnen wurden, sind in Tabelle 5 zusammengestellt, in welcher nur die in diesem Zusammenhang besonders interessierenden Daten aufgenommen wurden.

Aus dem oben Angeführten ergibt sich, daß trotz der Dosiszunahme im lateralen präsakralen Raum bei 2 cm dorsal der TE, 5 cm lateral gelegenem und 4 cm breitem Feld, bei welchem auch die Dosisverteilung im übrigen Becken zur Zusatzbestrahlung von Uteruskarzinomen tragbar erschien, und trotz Pendelwinkelvergrößerung von 160° auf 180° die Dosis von 44% der Maximaldosis zur Bestrahlung der Lymphbahnen in diesem Bereich nicht ausreichen würde. Auch eine genügend hohe prozentuale Dosis über der Mitte des Os sacrum oder etwas paramedian davon wurde durch keine Anordnung erreicht.

Tabelle 5. Dosis von der Gegenseite an den wichtigsten Meßstellen.
Feld: Breite × Länge / Entfernung der Achse von der Medianen / Länge 2 cm dorsal (d) der TE, Bestrahlungswinkel je 180°

Meßpunkt	3×8 / 5 / d		3×8 / 4 / d		4×8 / 5 / d		4×8 / 4 / d	
	R	%	R	%	R	%	R	%
1	22,5	5,5	23,0	5,7	29,0	6,9	35,5	8,5
2	26,5	6,4	31,0	7,7	33,5	7,9	40,5	9,7
3	31,5	8,3	41,0	10,2	46,0	10,8	55,5	13,3
4	48,0	11,6	56,0	13,9	62,5	14,7	73,5	17,7
5	7,5	1,8	7,5	1,9	10,0	2,3	11,5	2,8
6	36,0	8,7	40,5	10,1	44,0	10,3	52,5	12,6
8	12,5	3,0	12,5	3,1	16,0	3,8	18,0	4,3
11	38,0	9,2	43,0	10,7	49,0	11,5	56,0	13,5
14	20,0	4,8	21,5	5,3	25,0	5,9	29,5	7,1

Dies bedeutet, daß man auf die Erfassung der präsakralen Lymphgebiete mittels einfacher Pendelbestrahlung verzichten muß, da wegen der Nachteile für die übrige Dosisverteilung selbst eine weitere Verbreiterung des Feldes ebenso wie dessen mediale Verschiebung oder auch eine weitere Verlagerung auf die Sakralgegend zu nicht ratsam erscheint. Eine eventuell mögliche zusätzliche Bestrahlung dieser Gebiete durch Stehfelder soll hier nicht näher untersucht werden.

Aus der Abwägung aller Gründe, die hinsichtlich der Dosis an einer 6,5 cm lateral liegenden Beckenwand, der Dosis in der Medianen oder eventueller Dosisspitzen im Schenkelhalsbereich jeweils für die Anwendung bestimmter, verschieden großer und unterschiedlich angeordneter Felder sprechen, ergibt sich, daß es am günstigsten erscheint, ein mit seiner Achse in der TE 5 cm lateral liegendes Feld von 3,5 cm Breite zu verwenden, um bei genügend hoher Beckenwanddosis die mediale Belastung möglichst gering zu halten.

Versuch 2

Gestellte Aufgabe

Es soll mit einem Feld je Seite sowohl an der Beckenwand als auch im prälumbalen Bereich — also fast im gesamten Lymphabflußgebiet — eine genügend hohe Dosis bei sonst günstiger Dosisverteilung erzielt werden.

Es kam jetzt, nachdem in den ersten Versuchen bei günstiger Dosisverteilung eine hohe Dosis an der Beckenwand und präsakral gleichzeitig nicht zu erhalten war, nun mehr darauf an, neben der Beckenwand und den lateralen Parametrienbereichen die prälumbalen Gebiete mit einer genügend hohen Dosis zu belasten. Da, wie Abbildung 2a zeigt, die hauptsächlichen Lymphabflußgebiete etwa 15° kranialwärts zur Medianen geneigt verlaufen und die die Gefäße begleitenden Lymphbahnen fast auf einer Geraden liegen, wählten wir für jede Phantomhälfte ein einziges schräggestelltes langes Feld.

In Abbildung 2a und 2b haben wir die Lage des Herdfeldes und seine Beziehungen zu den Meßstellen sowie den Lymphknoten eingezeichnet. Der untere Feldrand befand sich 1,5 cm unterhalb des oberen Symphysenrandes. In Höhe

des oberen Feldrandes lag die Feldachse 2 cm lateral der Medianen, der mediale Feldrand somit fast median. Bei dieser Feldanordnung konnte mit einer beachtlichen Summation der Dosen von beiden Seiten in Höhe der unteren Lendenwirbelsäule gerechnet werden.

Im frontalen Strahlengang befand sich die Pendelachse genau in der TE. Eine Hoch- oder Tieflagerung des Beckens, wie sie bei Patientinnen mit mehr oder weniger starker Lordose angezeigt ist, war bei unserem Phantom nicht nötig. Hier war die Beckenkrümmung etwa so groß, daß die Gerade, die die Parametrien, die Stelle der Aufzweigung der A. iliaca communis und die Bifurkation verbindet (*Keller, Breit, Wachsmann*), etwa horizontal und parallel zum Tisch zu liegen kam.

Die Einstellung zur Bestrahlung mit solchen langen, schräg liegenden Feldern ist bei unserem Gerät, dem Theratron junior, insofern problematisch, als der Tisch weder um die Längs- noch um die Querachse gekippt werden kann, so daß im Fall einer erforderlichen Beckenhoch- oder -tieflagerung andere Hilfsmittel verwendet werden müssen, was die Reproduzierbarkeit der Einstellung erschweren kann. Selbst bei relativ schlanken Patientinnen bzw. bei unserem diesen entsprechenden Phantom bereitet die erforderliche Schrägstellung, die durch Drehung des Tisches bei gleichzeitiger Lateralverschiebung bewerkstelligt wird, zur Durchführung dieser Art der Pendelbestrahlung gewisse, jedoch noch zu bewältigende Schwierigkeiten. Bei starken Patientinnen oder bei solchen, bei denen zum Beispiel eine Beckenhochlagerung in Frage kommt, können unter Umständen die Einstellungsschwierigkeiten unüberwindlich werden.

Mit dem 15° schräggestellten, 3,5×15 cm großen Feld wurde über einen Winkel von 0° bis 180° gependelt, und gleichzeitig wurden mit der Ermittlung der Dosisverteilung im bestrahlten Feld Anschlußwerte in Meßstellen der anderen Phantomhälfte gewonnen. Zu diesem Zweck wurde in die dort vorhandenen Bohrungen eine Siemens-Schlauchkammer so weit eingeschoben, daß die Meßstelle spiegelbildlich derjenigen der Meßstelle 2 entsprach. Ferner wurden die Dosen in den Meßstellen 1 bis 23 aus der Bestrahlung der Gegenseite ermittelt. Die höchste Dosis war die Beckenwanddosis in Meßstelle 1 (Tab. 6), auf die dann alle gemessenen und summierten Werte (in Spalte f) bezogen wurden.

Ferner wurden über dem kaudalen Feldende, außerdem etwa über Meßstelle 2, der Feldmitte und über dem kranialen Ende Umrißmessungen — senkrecht zur schräggestellten Feldachse — vorgenommen und die Herddosen berechnet. Da die mittleren Schichtdicken in den vier Umrissen mit Werten von 10,7 bis 11,3 cm nur wenig voneinander differierten, waren auch die errechneten Herddosen praktisch gleich. Die errechneten Werte stimmten an Meßstelle 2 mit der gemessenen Dosis überein und zeigten darüber hinaus, daß zumindest bei unserem Phantom die Dosis in der Feldachse praktisch homogen verteilt war.

Die Dosisverteilung ist in Tabelle 6 angegeben. Dort sind außerdem die Dosis der Gegenseite sowie, zum späteren Vergleich, die Ergebnisse der Stehfeldbestrahlung von *Weishaar* und *Heller* mit aufgenommen. Es zeigt sich (ohne Berücksichtigung der Dosis von der Gegenseite):

1. Die Dosis an der Beckenwand sowie im Bereich der Parametrien hat die gewünschte Höhe (100% und 98,3% an den Meßstellen 1 und 2).

Tabelle 6. Dosisverteilung bei dem 3,5 × 15,0 cm großen, schräggestellten Pendelfeld (Spalten a bis f) sowie bei 2 früheren Stehfeldanordnungen von *Weishaar* und *Heller* (Spalten b_1 u. b_2).

Meßstellen	Herdfeld 3,5×15,0 cm, schräggestellt, gependelt über 180°						Insges. 4 Felder. Herdfeldgröße: 7×17,5 cm	Insges. 6 Felder. Herdfeldgröße: 5,8×9,3 u. 9,5×11,6 cm
	a	b	c	d	e	f	b_1	b_2
1	410,5	100,0	3,5	34,0	8,3	100,0	100,0	100,0
2	403,3	98,3	0,7	37,7	9,2	99,3	100,0	99,0
3	251,0	61,2	1,2	50,0	12,2	67,7	68,0	56,0
4	132,3	32,2	2,0	66,0	16,1	44,6	15,0	15,0
5	78,6	19,2	8,0	15,2	3,7	21,1	9,0	8,0
6	151,0	36,8	4,0	39,5	9,6	42,7	30,0	56,0
7	178,3	43,4	4,0	29,7	7,2	46,7	56,0	77,0
8	26,0	6,3	23,0	15,0	3,6	9,1	17,0	11,0
9	231,3	56,3	2,5	82,2	20,0	70,4	45,0	46,0
10	113,0	27,5	1,7	77,7	19,0	42,9	28,0	91,0
11	62,0	15,1	0,0	52,5	12,8	25,8	12,0	16,0
12	59,3	14,5	7,0	47,5	11,6	24,1	11,0	10,0
13	204,0	49,6	4,0	41,5	10,1	55,0	108,0	85,0
14	121,6	29,6	1,2	25,5	6,2	33,0	114,0	106,0
15	120,0	29,2	16,0	23,2	5,6	32,1	113,0	105,0
16	186,6	45,5	2,5	101,5	24,7	64,8	43,0	99,0
17	250,6	61,0	2,0	111,5	27,2	81,4	60,0	101,0
18	27,6	6,7	42,0	20,5	5,0	10,8	40,0	95,0
19	336,3	82,0	2,0	65,7	16,0	90,5	103,0	95,0
20	361,6	88,0	10,0	64,0	15,6	95,5	100,0	97,0
21	45,0	11,0	0,0	18,5	4,5	14,3	73,0	93,0
22	89,0	21,7	9,0	15,0	3,6	23,3	11,0	7,0
23	402,0	98,0	3,0	48,7	11,9	101,5	110,0	103,0

a: Dosis in R an den verschiedenen Meßstellen als Mittelwert aus mehreren Messungen.
b: prozentuale Dosisverteilung, bezogen auf die Maximaldosis (411 R) in Meßstelle 1.
c: Schwankungen in ± % von a.
d: gemessene mittlere Dosis in R bei Bestrahlung des spiegelbildlichen Gegenfeldes.
e: prozentuale Dosisverteilung von d, bezogen auf die Maximaldosis der Spalte a.
f: Summe der Dosen beider Seiten, bezogen auf die Beckenwanddosis = 100%.
b_1 und b_2: prozentuale Dosisverteilung, bezogen auf die Maximaldosis in Meßstelle 1.

2. Der Dosisabfall nach medial erscheint zwar ausreichend, dürfte aber steiler sein (32,2% an Meßstelle 4).
3. Die Dosis im Schenkelhalsbereich ist, wie gewünscht, niedrig (19,2% an Meßstelle 5).

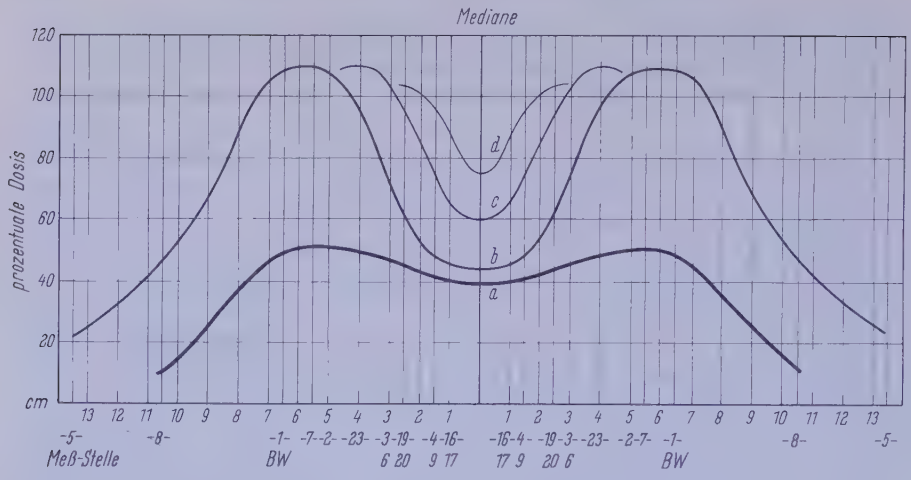

Abb. 4. Relative Dosisverteilung bei beidseitiger Bestrahlung mit dem schräggestellten 3,5 × 15 cm-Feld in verschiedenen Höhen des Feldes, bezogen auf die errechneten Dosismaxima.

4. Die Dosis im präsakralen Raum liegt weit unter der erforderlichen Höhe (29,4% als Mittelwert an den Meßstellen 14 und 15).

Über die Dosisverteilung in der TE in verschiedenen Höhen des Feldes gibt Abbildung 4 Auskunft. Es sind dabei die Summen der Dosen aus der Bestrahlung beider Seiten in Prozenten der aus den Umrissen errechneten Herddosismaxima aufgetragen, wobei sich die Kurven a bis c auf Verteilungen in der TE beziehen.

Wenn auch ein Teil der Kurven sich nur auf verhältnismäßig wenige Meßstellen stützen kann und unter Mitheranziehung bzw. in Vergleich mit der Kurve b, für die die meisten Meßstellen zur Verfügung standen und die die Verteilung in der Interspinallinie widerspiegelt, konstruiert wurde, so ergaben doch verschiedene Kontrollen, daß der gezeichnete Verlauf den wahren Werten entsprechen dürfte. Die Kurve c gilt für die Verteilung in Höhe des Feldmittelpunktes; hier liegen etwa die Meßstellen 9 und 23. Bei den Kurven d und a werden die Maxima der beiden anderen Kurven nicht erreicht, bei Kurve d deshalb nicht, weil die Meßstellen 17 und 20 1 cm dorsal der TE liegen, bei Kurve a, weil diese für eine Ebene gilt, die das Feld mit den Meßstellen 6, 7 und 8 am kaudalen Ende gerade noch anschneidet, aber nicht mehr voll erfaßt.

Insgesamt kann man feststellen: Das 3,5 × 15 cm große, schräggestellte Feld ist zur Bestrahlung der Parametrien wie auch der Beckenwand trotz einer doch erheblichen medialen Dosis in Höhe der Interspinallinie (44,6% der Maximaldosis beider Seiten an Meßstelle 4) gut geeignet. Die Summen der prälumbalen Dosen beider Seiten erscheinen ebenfalls ausreichend (81,4% medial und 95,5% rund 3 cm lateral an den Meßstellen 17 und 20). Durch eine weitere Annäherung des oberen Feldrandes an die Mitte könnte sicherlich die kleine Dosislücke noch geschlossen werden. Jedoch ist hierbei zu berücksichtigen, daß das Feld unter Umständen nicht genügend weit nach kranial reicht, um alle potentiellen Herde in den kaudalen aortalen Lymphknoten zu erfassen. An den Meßstellen 18 und 21 sind nur noch Dosen von 10,8% und 14,3% vorhanden.

Die Dosis im Schenkelhals- und -kopfbereich (um 20%) darf als ausreichend niedrig zur Verhütung von Strahlenschäden angesehen werden.

Vergleich der Ergebnisse der Co^{60}-Pendelbestrahlung mit denen der Co^{60}-Stehfeldbestrahlung

Ein sinnvoller Vergleich ist nur möglich, wenn die Dosis von der Gegenseite bei der Pendelbestrahlung mit berücksichtigt wird. Da bei allen Versuchsanordnungen bei *Weishaar* und *Heller* die Meßstellen 1 und 2 mitten im Feld lagen und auch bei unserem 3,5×15 cm großen Feld das Maximum in Meßstelle 1 lag, soll die Dosis an Meßstelle 1 die Vergleichsgröße darstellen, wobei die kleine Dosisspitze des Stehfeldzentralstrahls in Meßpunkt 23 als unbedeutend vernachlässigt werden darf. Bei der Pendelbestrahlung wird nun die Dosis beider Seiten an der Beckenwand zu 100% angenommen und alle Werte der Summe beider Seiten auf dieses Maximum bezogen. Zu unserem Vergleich seien nur die beiden eindrucksvollsten Feldanordnungen der Stehfeldbestrahlung (*Weishaar* u. *Heller*) mit herangezogen; erstens zwei abdominale und zwei dorsale von kaudal-lateral nach kranial-medial schräg verlaufende, im Herdbereich etwa 17,5 cm lange und 7 cm breite, mit ihren kranialen medialen Ecken der Medianen anliegende Felder, deren Achsen die Beckenwand schneiden (Ergebnisse s. Tab. 6, Spalte b_1); zweitens abdominal und dorsal je drei parallel verlaufende Felder, die in Herdtiefe kaudal-lateral (Feldachse 5,5 cm lateral) 9,5×5,8 cm und kranial-medial (Feldachse in der Medianen) 9,5×11,6 cm messen (Tab. 6, Spalte b_2).

Der Vergleich dieser drei Feldanordnungen ergibt folgendes: Die Beckenwanddosis stellt bei allen Anordnungen das Maximum in der TE dar. Der Dosisabfall nach medial geht bei der Pendelbestrahlung relativ kontinuierlich (100; 99,3; 67,7; 44,6), bei den Stehfeldern steil vor sich (100; 100; 60; 15). Die mediale Dosis liegt bei der Stehfeldbestrahlung an Meßstelle 4 mit 15% 3mal niedriger als bei der Pendelbestrahlung, wobei die bei der Stehfeldbestrahlung auf die andere Seite tretende Strahlung als gering vernachlässigt wurde; auch die Oberschenkelkopf- und -halsbereiche sind durch Stehfelder (rund 10%) nur etwa halb so hoch belastet. Die Dosisverteilung in den präsakralen lateralen Bereichen ist bei Stehfeldbestrahlung günstig; eine hohe Belastung dieser Gebiete ist bei der bisherigen Art der Pendelbestrahlung als Zusatzbestrahlung zu hochdosierten Radiumeinlagen nicht möglich. Im prälumbalen Bereich ließ sich, vor allem durch die 6 parallelen Stehfelder, ebenfalls eine hohe Dosis erreichen. Während zwar die beiden kaudalen lateralen prälumbalen Meßstellen (19 u. 20) durch die beiden Stehfeldbestrahlungsarten gleich belastet werden konnten (über 90%), wies die Mediane in der Lumbalgegend bei der Pendelbestrahlung mit 64% und 81% eine Dosislücke gegenüber den rund 100% der breiten, über die Mitte reichenden Stehfelder auf. Da überdies auf Grund des größeren Abstandes des Herdes von der Quelle bei der Stehfeldbestrahlung (55 cm FHA + 9 cm Herdtiefe) ein Hautfeld von 15 cm sich auf ein Feld von 17,5 cm am Herd verlängert, würden auch die Lymphbahnen in Höhe des 4. Lendenwirbels (Meßstellen 18 u. 21) bei einem langen, schräggestellten Stehfeld noch am Feldrand liegen und erhielten eine Dosis von über 70% lateral bzw. von 40% medial. Demgegenüber würden sie sich bei der Pendelung außerhalb des Feldes befinden und unter 15% der Beckenwanddosis erhalten. Bei der 6-Felder-Anordnung läßt sich das lumbale Feld im Rahmen der Erfordernisse beliebig

verlängern, wodurch stets eine hohe Belastungsmöglichkeit der lumbalen Lymphgruppen gegeben ist.

Insgesamt zeigt sich, daß für die Routinebestrahlung des Uteruskarzinoms als Zusatzbestrahlung nach hochdosierten Radiumeinlagen bei Anwendung der Telekobalttherapie ohne die apparative Möglichkeit einer schalenförmigen Bestrahlung (die wir an unserem Gerät nicht prüfen konnten, weshalb wir hierzu nicht Stellung nehmen können) die Stehfeldbestrahlung günstiger ist als die Bewegungsbestrahlung.

Ansonsten wird man natürlich bei besonderen Fällen auch bei der Telekobalttherapie von den großen allgemeinen Vorteilen der Bewegungsbestrahlung Gebrauch machen. Hierauf braucht nicht näher eingegangen zu werden, da es sich hier um altbekannte Dinge handelt. Auch eine Kombination von Stehfeld- und Bewegungsbestrahlung käme in entsprechenden Fällen in Frage.

Zusammenfassung

Zunächst wurden Untersuchungen zur Ermittlung verschiedener Faktoren, die für die Aufstellung von Bestrahlungsplänen bei Anwendung der Telekobalttherapie mit dem Gerät Theratron junior von Bedeutung sind, durchgeführt. Danach wurden die Dosisverteilungen im Beckenphantom bei Bewegungsbestrahlung mit verschiedenen Feldanordnungen festgestellt und Vergleiche mit früher ermittelten Dosisverteilungen bei Anwendung von Stehfeldern angeschlossen.

Summary

Studies concerning the evaluation of different factors which are important for the scheduling of irradiation plans for telecobalt therapy with the instrument Theratron junior were done. Dose distributions for a phantom of the pelvis with moving field irradiation using different field sizes were determined. The results are compared with dose distributions for fixed fields determined previously.

Résumé

Les auteurs étudient d'abord différents facteurs qui ont de l'importance pour l'établissement de plans d'irradiation lors de l'application de telecobalthérapie avec le Theratron junior. Ensuite, ils établissent les répartitions de doses dans le fantôme du bassin pour l'irradiation de mouvement avec différentes dispositions de champs; ils comparent avec les répartitions de doses établies antérieurement pour les champs fixes.

Schrifttum

Breit, A., u. *H. Keller:* Strahlentherapie 110 (1959): 83. — Central Axis Depth Dose Data: Brit. J. Radiol. Suppl. 5 (1953). — *du Mesnil de Rochemont, R., J. v. Haase, G. Hagemann* u. *D. Ringleb:* Strahlentherapie 118 (1962): 170. — *Weishaar, J.:* Strahlentherapie 118 (1962): 393. — *Weishaar, J.*, u. *G. Brückner:* Strahlentherapie 119 (1962): 250. — *Weishaar, J.*, u. *R. Heller:* Strahlentherapie 119 (1962): 225.

Lebenslauf

Als Sohn des Chirurgen Dr. S. Beck und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Rohlederer, bin ich, Günther Beck, am 26. 4. 1936 in Memmingen/Allgäu geboren und ev. luth. getauft.

Von 1942 bis 1949 besuchte ich in meiner Heimatstadt die Volksschule und das Hum. Gymnasium. Von 1949 ab besuchte ich das Hum. Gymnasium in Weiden/Opf., wo ich 1957 das Abitur ablegte.

Seit dem WS 1957/58 war ich bis SS 1963 — mit Ausnahme des SS 1961, während dessen ich die Med. Fakultät der Karl-Franzens-Universität in Graz besuchte — an der Universität Erlangen-Nürnberg für die med. Fakultät eingeschrieben.

Am 25. 2. 64 bestand ich das medizinische Staatsexamen.

Seit 1960 bin ich mit Frau Christel, geb. Lohse, verheiratet.